

TUGAS AKHIR
ANALISA PERPINDAHAN PANAS TERHADAP *RECTANGULAR DUCT*
DENGAN TEBAL 0.075 m MENGGUNAKAN ANSYS 12 SP1 DAN
PERHITUNGAN METODE NUMERIK



Disusun Sebagai Syarat Untuk Mencapai Gelar Sarjana Teknik
Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik
Universitas Muhammadiyah Surakarta

Disusun Oleh:
YONGKY HARJA WINATA
D.200.080.088

JURUSAN TEKNIK MESIN FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH SURAKARTA
2015

PERNYATAAN KEASLIAN SKRIPSI

Saya menyatakan dengan sesungguhnya bahwa skripsi dengan judul : **“ANALISA PERPINDAHAN PANAS TERHADAP RECTANGULAR DUCT DENGAN TEBAL 0.075 m MENGGUNAKAN ANSYS 12 SP1 DAN PERHITUNGAN METODE NUMERIK”** yang dibuat untuk memenuhi sebagian syarat untuk memperoleh derajat sarjana S1 pada jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Surakarta. Sejauh mana penulis ketahui bukan merupakan tiruan atau duplikasi dari skripsi yang sudah dipublikasikan atau pernah dipakai untuk mendapatkan gelar kesarjanaan di lingkungan Universitas Muhammadiyah Surakarta atau Instansi Pendidikan lain, kecuali bagian yang sumber informasinya penulis cantumkan sebagaimana mestinya.

Surakarta, Desember 2014

Yang menyatakan,



Yongky Harja Winata

HALAMAN PERSETUJUAN

Tugas Akhir, yang berjudul "**ANALISA PERPINDAHAN PANAS TERHADAP RECTANGULAR DUCT DENGAN TEBAL 0.075 m MENGGUNAKAN ANSYS 12 SP1 DAN PERHITUNGAN METODE NUMERIK**" telah disetujui oleh Pembimbing dan diterima untuk memenuhi sebagai persyaratan memperoleh derajat Sarjana S1 pada Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Surakarta.

Dipersiapkan Oleh

Nama : **Yongky Harja Winata**

NIM : **D.200.080.088**

Disetujui Pada

Hari : Sabtu

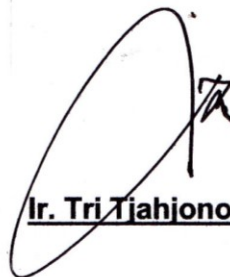
Tanggal : 27 Desember 2014

Pembimbing Utama



Wijiarto, S.T., M.Eng.Sc.

Pembimbing Pendamping



Ir. Tri Tjahjono, M.T.

HALAMAN PENGESAHAN

Tugas Akhir, yang berjudul "**ANALISA PERPINDAHAN PANAS TERHADAP RECTANGULAR DUCT DENGAN TEBAL 0.075 m MENGGUNAKAN ANSYS 12 SP1 DAN PERHITUNGAN METODE NUMERIK**" telah dipertahankan di hadapan Tim Penguji dan telah dinyatakan sah untuk memenuhi sebagai persyaratan memperoleh derajat Sarjana S1 pada Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Surakarta.

Dipersiapkan Oleh

Nama : **Yongky Harja Winata**

NIM : **D.200.080.088**

Disahkan Pada

Hari : Senin

Tanggal : 05 Januari 2015

Tim Penguji

Ketua : **Wijianto, S.T., M.Eng.Sc.** (.....)

Anggota 1 : **Ir. Tri Tjahjono, M.T.** (.....)

Anggota 2 : **Ir. Sunardi Wiyono, M.T.** (.....)

Mengetahui,

Dekan

Ketua Jurusan



(Ir. Sri Sunarjono, M.T., PhD.)

(Tri Widodo Besar, S.T., MSc., PhD.)

LEMBAR SOAL TUGAS AKHIR

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

Berdasarkan surat Dekan Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Surakarta
Nomor 199/A.3-II/TM/TA/IX/2014. Tanggal 26 September 2014
dengan ini :

Nama : Wijianto, ST., M.Eng. Sc.
Pangkat/Jabatan : Lektor
Kedudukan : Pembimbing Utama / Pembimbing Kedua *)
XXXXXXXXXXXXXX
memberikan Soal Tugas Akhir kepada mahasiswa :

Nama : Yongky Harja Winata
Nomor Induk : D 200 080 088
NIRM : -
Jurusan/Semester : Teknik Mesin / Akhir
Judul/Topik : ANALISA PERPINDAHAN PANAS TERHADAP RECTANGULAR DUCT DENGAN
Rincian Soal/Tugas : TEBAL 0.075 MM MENGGUNAKAN ANSYS 12 SP1 DAN PERHITUNGAN NUMERIK,
- MODEL HART TRANSFER
- MANUAL ANALISES
- ANSYS ANALISIS

Demikian soal tugas akhir ini dibuat untuk dapat dilaksanakan sebagaimana mestinya.

Surakarta,26 September 2014.

Pembimbing,



Wijianto, ST., M.Eng. Sc.

Cc. : Tri Tjahjono, Ir., MT.
Lektor Kepala.

Keterangan :

- *) Coret salah satu
- 1. Warna biru untuk Kepala
- 2. Warna hijau untuk Pembimbing I
- 3. Warna merah untuk Pembimbing II
- 4. Warna putih untuk mahasiswa

MOTTO

“Dan perumpamaan-perumpamaan ini Kami buat untuk manusia dan tiada yang memahaminya kecuali orang yang berilmu.”

(QS. Al-‘Ankabut : 43)

“Allah akan mengangkat orang-orang yang beriman yang mempunyai ilmu diantara kamu dengan beberapa derajat.”

(QS. Al-Mujadallah : 11)

“Allah akan menolong hamba-Nya selama hamba itu menolong sesama saudaranya.”

(H.R. Muslim, Abu Daud, dan Turmuzi)

“Mencari ilmu itu hukumnya wajib bagi muslimin dan muslimat.”

(H.R. Ibnu Abdil Bari)

“The power of “can’t”: The word “can’t” makes strong people weak, blinds people who can see, saddens happy people, turns brave people into cowards, robs a genius of their brilliance, causes rich people to think poorly, and limits the achievements of that great person living inside us all”

(Robert T Kyosaki)

PERSEMBAHAN

Dengan ridho Allah SWT, serta teriring do'a dan sujud syukur yang mendalam, setelah melewati berbagai ujian dalam perjuangan, Maka dipersembahkan Tugas Akhir ini kepada :

- Ayah (Sukardi Harja Winata) dan Ibu (Ida Fathonah) dengan segala kasih sayang, semangat, keikhlasan, kesabaran dan pengorbanan. Serta yang senantiasa mendukung, membimbing dan mendo'akan.
- Bapak Wijianto, S.T., M.Eng.Sc., dosen pembimbing utama Tugas Akhir, serta Bapak Ir. Tri Tjahjono, M.T., selaku dosen pembimbing pendamping dan Dosen pembimbing akademik, serta seluruh Dosen dan Karyawan Jurusan Teknik Mesin Universitas Muhammadiyah Surakarta yang telah membimbing serta memfasilitasi.
- Kakak (Ongky Harja Winata) dan Adik (Anisya Rizky Ayu Permata) yang telah memberikan semangat serta inspirasi
- Ika Setiawati yang selalu memberikan dukungan dan semangat
- Rekan Teknik Mesin angkatan 2008 yang selalu memberikan dukungan dan semangat
- Keluarga Besar DINAMIK FT UMS yang selalu memberikan dukungan dan semangat

KATA PENGANTAR



Assalamu'alaikum Warrahmatullahi Wabarakatuh

Puji syukur Alhamdulillahirrabbi'l'amin, kehadiran Allah SWT atas segala rahmat dan hidayah-Nya sehingga penyusunan Tugas Akhir ini dapat terselesaikan.

Dukungan, bimbingan serta dorongan dari semua pihak sangat berarti bagi kelancaran dalam menyelesaikan Tugas Akhir ini. Untuk ini diucapkan terima kasih kepada :

1. Ir. Sri Sunarjono, M.T., PhD, selaku Dekan Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Surakarta
2. Tri Widodo Besar, S.T., MSc., PhD, selaku Ketua Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Surakarta
3. Ir. Sunardi Wiyono, M.T., selaku koordinator Tugas Akhir Jurusan Teknik Mesin Universitas Muhammadiyah Surakarta
4. Wijianto, S.T., M.Eng.Sc., selaku Dosen Pembimbing Utama yang telah membimbing, mengarahkan dan memberi petunjuk dalam penyusunan Tugas Akhir
5. Ir. Tri Tjahjono, M.T., selaku Dosen Pembimbing Pendamping yang telah membimbing, mengarahkan dan memberi petunjuk dalam penyusunan Tugas Akhir
6. Bambang Waluyo Febriantoko, S.T., selaku Pembimbing Akademik yang selalu memberikan nasehat serta saran
7. Dosen Teknik Mesin beserta Staf Tata Usaha Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Surakarta
8. Ayah, Ibu serta saudara-saudari yang memberikan kasih sayang, semangat serta do'a untuk menyelesaikan Tugas Akhir ini

9. Rekan Teknik Mesin Angkatan 2008 dan rekan lainnya untuk semangat dan dukungannya
10. Seluruh pihak yang membantu penulis dalam studi dan penyelesaian Tugas Akhir ini

Kemudian semua pihak yang telah membantu dalam menyelesaikan Tugas Akhir ini. Semoga bantuan yang diberikan dapat menjadi amalan kebaikan disisi Allah SWT, Amin. Segala saran dan kritik menjadikan motivasi dan semangat dalam penyusunan Tugas Akhir ini. Semoga hasil ini dapat berguna dan dipergunakan dengan baik di lingkungan pendidikan.

Wassalamu'alaikum Warrahmatullahi Wabarakatuh

Surakarta, Desember 2014

Yongky Harja Winata

**ANALISA PERPINDAHAN PANAS TERHADAP RECTANGULAR DUCT
DENGAN TEBAL 0.075 m MENGGUNAKAN ANSYS 12 SP1 DAN
PERHITUNGAN METODE NUMERIK**

Yongky Harja Winata, Wijianto, Tri Tjahjono

Teknik Mesin Universitas Muhammadiyah Surakarta

Jl. A. Yani Tromol Pos I Pabelan, Kartasura

email : yongkyharjawinata@gmail.com

ABSTRAKSI

Perpindahan panas merupakan ilmu untuk meramalkan perpindahan energi dalam bentuk panas yang terjadi karena adanya perbedaan suhu diantara benda atau material. Dalam proses perpindahan energi tersebut tentu ada kecepatan perpindahan panas yang terjadi, atau yang lebih dikenal dengan laju perpindahan panas. Maka ilmu perpindahan panas juga merupakan ilmu untuk meramalkan laju perpindahan panas yang terjadi pada kondisi-kondisi tertentu. Dalam penelitian ini dimaksudkan untuk membandingkan hasil perhitungan perpindahan panas pada rectangular duct dengan cara mengetahui temperatur pada tiap node antara perhitungan komputasi menggunakan software ANSYS 12 SP1 dan perhitungan manual dibantu dengan software Microsoft Excel 2013.

Cara penyelesaiannya adalah dengan mensimulasikan benda uji penampang rectangular duct dengan panjang 1500 mm, lebar 750 mm, dengan konduktivitas thermal 0,2 W/mK yang ditanamkan didalam tanah sedalam 500 mm, dan fluida yang mengalir didalamnya memiliki temperatur sebesar 393 K dengan koefisien perpindahan panas 400 W/m²K. Pada bidang tanah memiliki temperatur 293 K dengan konduktivitas thermalnya 0,8 W/mK. dan aliran fluida di atas permukaan tanah memiliki temperatur 303 K dengan koefisien perpindahan panas sebesar 10 W/m²K. Kemudian membandingkan hasil analisis simulasi dengan hasil analisis metode numerik.

Hasil analisa menunjukkan bahwa perhitungan kalor pada rectangular duct menggunakan ANSYS 12 SP1 dan metode numerik memiliki hasil yang relatif sama. Terdapat perbedaan pada ujung-ujung node antara kedua metode disebabkan ketelitian metode analisa menggunakan software ANSYS 12 SP1 lebih teliti dibandingkan dengan analisa menggunakan metode numerik.

Kata kunci : rectangular duct, perpindahan panas, metode numerik

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
PERNYATAAN KEASLIAN SKRIPSI	ii
HALAMAN PERSETUJUAN	iii
HALAMAN PENGESAHAN	iv
LEMBAR SOAL	v
MOTTO	vi
PERSEMBAHAN	vii
KATA PENGANTAR	viii
ABSTRAKSI	x
DAFTAR ISI	xi
DAFTAR GAMBAR	xvi
DAFTAR TABEL	xx
DAFTAR GRAFIK	xxi
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	4
1.3 Batasan Masalah	4
1.4 Tujuan Penelitian	5
1.5 Manfaat Penelitian	5
1.6 Metode Penelitian	6
1.7 Sistematika Penulisan	6
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	8
2.1 Kajian Pustaka	8
2.2 Landasan Teori	9
2.2.1 Perpindahan Panas	9
2.2.1.1 Perpindahan Panas Konduksi	10
2.2.1.2 Perpindahan Panas Konveksi	13
2.2.1.3 Perpindahan Panas Radiasi	16
2.2.2 Metode Numerik	18

2.2.2.1	Metode <i>Invers</i> Matriks	19
2.2.2.2	Metode Iterasi	20
2.2.3	Metode Elemen Hingga	22
2.2.4	Perhitungan Dengan Metode <i>Invers</i> Matriks.....	25
2.2.4.1	Persamaan Linier Perpindahan Panas Konduksi 2D untuk <i>Node</i> bagian Dalam	26
2.2.4.2	Persamaan Linier Perpindahan Panas Konduksi 2D untuk <i>Node</i> bagian dalam dengan batas irisan vertikal.....	28
2.2.4.3	Persamaan Linier Perpindahan Panas Konduksi 2D untuk <i>Node</i> bagian dalam dengan batas irisan horisontal.....	30
2.2.4.4	Persamaan Linier Perpindahan Panas Konveksi 2D untuk <i>Node</i> bagian Dalam	32
2.2.4.5	Persamaan Linier Perpindahan Panas Konveksi 2D untuk <i>Node</i> bagian Luar Vertikal.....	35
2.2.4.6	Persamaan Linier Perpindahan Panas Konveksi 2D untuk <i>Node</i> bagian Luar Horisontal	37
2.2.4.7	Persamaan Linier Perpindahan Panas Konveksi 2D untuk <i>Node</i> bagian luar dengan batas irisan vertikal dan horisontal.....	40
2.2.5	Perhitungan Dengan Metode Iterasi	43
2.2.5.1	Persamaan Linier Perpindahan Panas Konduksi 2D untuk <i>Node</i> bagian Dalam	43
2.2.5.2	Persamaan Linier Perpindahan Panas Konduksi 2D untuk <i>Node</i> bagian dalam dengan batas irisan vertikal.....	43
2.2.5.3	Persamaan Linier Perpindahan Panas Konduksi 2D untuk <i>Node</i> bagian dalam dengan batas irisan horisontal.....	43

2.2.5.4	Persamaan Linier Perpindahan Panas Konveksi 2D untuk <i>Node</i> bagian Dalam	43
2.2.5.5	Persamaan Linier Perpindahan Panas Konveksi 2D untuk <i>Node</i> bagian Luar Vertikal.....	44
2.2.5.6	Persamaan Linier Perpindahan Panas Konveksi 2D untuk <i>Node</i> bagian Luar Horisontal	44
2.2.5.7	Persamaan Linier Perpindahan Panas Konveksi 2D untuk <i>Node</i> bagian luar dengan batas irisan vertikal dan horisontal.....	44
BAB III	METODOLOGI ANALISA.....	45
3.1	Diagram Alir Proses Analisa	45
3.2	Ilustrasi Skematik Perpindahan Panas	46
3.3	Perhitungan Menggunakan <i>Software ANSYS</i>	47
3.3.1	<i>Preprocessing</i>	47
3.3.2	<i>Meshing</i>	57
3.3.3	<i>Solution</i>	61
3.3.4	<i>General Postprocessing</i>	66
3.4	Perhitungan Dengan Metode <i>Inverse Matriks</i>	71
3.4.1	Persamaan Linier Perpindahan Panas Konduksi 2D Untuk <i>Node</i> bagian Dalam	71
3.4.2	Persamaan Linier Perpindahan Panas Konduksi 2D Untuk <i>Node</i> Bagian Dalam Dengan Batas Irisan Vertikal.....	74
3.4.3	Persamaan Linier Perpindahan Panas Konduksi 2D Untuk <i>Node</i> Bagian Dalam Dengan Batas Irisan Horisontal	75
3.4.4	Persamaan Linier Perpindahan Panas Konveksi 2D Untuk <i>Node</i> Bagian Dalam.....	75
3.4.5	Persamaan Linier Perpindahan Panas Konveksi 2D Untuk <i>Node</i> Bagian Luar Vertikal	76
3.4.6	Persamaan Linier Perpindahan Panas Konduksi 2D Untuk <i>Node</i> Bagian Luar Horisontal	78

3.4.7	Persamaan Linier Perpindahan Panas Konduksi 2D Untuk Node Bagian Luar Batas Irisan Vertikal Dan Horisontal.....	79
3.5	Perhitungan Dengan Iterasi.....	82
3.5.1	Persamaan Linier Perpindahan Panas Konduksi 2D Untuk Node bagian Dalam	82
3.5.2	Persamaan Linier Perpindahan Panas Konduksi 2D Untuk Node Bagian Dalam Dengan Batas Irisan Vertikal.....	91
3.5.3	Persamaan Linier Perpindahan Panas Konduksi 2D Untuk Node Bagian Dalam Dengan Batas Irisan Horisontal	92
3.5.4	Persamaan Linier Perpindahan Panas Konveksi 2D Untuk Node Bagian Dalam.....	92
3.5.5	Persamaan Linier Perpindahan Panas Konveksi 2D Untuk Node Bagian Luar Vertikal	93
3.5.6	Persamaan Linier Perpindahan Panas Konduksi 2D Untuk Node Bagian Luar Horisontal	95
3.5.7	Persamaan Linier Perpindahan Panas Konduksi 2D Untuk Node Bagian Luar Batas Irisan Vertikal Dan Horisontal.....	98
3.5.8	Substitusi Persamaan.....	99
3.6	Perhitungan <i>Heat Transfer</i>	101
3.6.1	Perhitungan Perpindahan Menggunakan Panas ANSYS ...	101
3.6.2	Perhitungan Perpindahan Panas Metode Numerik	102
BAB IV HASIL ANALISA DAN PEMBAHASAN		104
4.1	Analisa Menggunakan <i>Software ANSYS</i>	104
4.1.1	Hasil Analisa Temperatur Permukaan Dalam Hingga Permukaan Luar <i>Rectangular Duct</i>	108
4.1.2	Temperatur Hasil Analisa Sesuai Nomor <i>Node</i> Pada <i>ANSYS</i>	110
4.2	Analisa Dengan Metode <i>Inverse Matrik</i>	112
4.3	Analisa Menggunakan Metode Iterasi	114
4.4	Perbandingan Hasil Nilai Temperatur.....	116
4.5	Perhitungan Laju Perpindahan Panas (q).....	124

4.5.1	Perhitungan Perpindahan Menggunakan Panas <i>ANSYS</i> ...	125
4.5.2	Perhitungan Perpindahan Panas Metode Numerik	126
BAB IV KESIMPULAN DAN SARAN		129
5.1	Kesimpulan.....	129
5.2	Saran.....	130
DAFTAR PUSTAKA		
LAMPIRAN		

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1.1	Bagan perpindahan kalor yang terjadi pada benda dalam dua dimensi	3
Gambar 2.1	Perpindahan panas secara konduksi	10
Gambar 2.2	Perpindahan panas secara konduksi dengan tambahan jarak untuk mengetahui <i>gradient</i> panas	11
Gambar 2.3	Perpindahan panas secara konduksi dengan tambahan jarak untuk mengetahui <i>gradient</i> panas	11
Gambar 2.4	Perpindahan panas secara konduksi dengan konstanta proporsionalitas	12
Gambar 2.5	Bagan arah aliran kalor	13
Gambar 2.6	Perpindahan kalor secara konveksi pada suatu plat sembarang	14
Gambar 2.7	Perpindahan kalor secara konveksi alamiah	15
Gambar 2.8	Perpindahan kalor secara konveksi paksa	16
Gambar 2.9	Perpindahan kalor secara radiasi pada suatu benda hitam	17
Gambar 2.10	Ilustrasi elemen menggunakan <i>curvilinear square analysis</i> pada perpindahan panas 2D	23
Gambar 2.11	Ilustrasi nomenklatur yang digunakan untuk analisa numerik pada perpindahan panas 2D	24
Gambar 2.12	Nomenklatur untuk kondisi perpindahan panas konduksi ...	26
Gambar 2.13	Nomenklatur untuk kondisi perpindahan panas konduksi bagian dalam dengan batas irisan vertikal	28
Gambar 2.14	Nomenklatur untuk kondisi perpindahan panas konduksi bagian dalam dengan batas irisan horisontal	30
Gambar 2.15	Nomenklatur untuk kondisi perpindahan panas konveksi ...	32
Gambar 2.16	Nomenklatur untuk kondisi perpindahan panas konveksi bagian luar vertikal	35
Gambar 2.17	Nomenklatur untuk kondisi perpindahan panas konveksi bagian luar horisontal	37

Gambar 2.18	Nomenklatur untuk kondisi perpindahan panas konveksi bagian luar dengan batas irisan vertikal dan horisontal	40
Gambar 3.1	Diagram Alir Proses Analisa	45
Gambar 3.2	Ilustrasi Skematik Perpindahan Panas	46
Gambar 3.3	<i>Preferences</i> elemen panas	47
Gambar 3.4	<i>Element type</i> perpindahan panas pada benda solid dengan 4 <i>node</i>	48
Gambar 3.5	Satuan temperatur (kelvin)	49
Gambar 3.6	<i>Material models</i> 1 pada material (<i>fluida</i>)	49
Gambar 3.7	<i>Material models</i> 2 pada material (tanah)	49
Gambar 3.8	<i>Create Models</i> bidang segi empat (1) <i>point by centre and corner</i> (2.5x1.75) m	50
Gambar 3.9	<i>Create Models</i> bidang segi empat (2) <i>point by centre and corner</i> (1.5x0.75) m	51
Gambar 3.10	Hasil <i>create area</i> (1) dan (2)	51
Gambar 3.11	<i>Subtract area</i> 1 dan 2 (<i>apply</i> pada area 1)	52
Gambar 3.12	<i>Subtract area</i> 1 dan 2 (<i>apply</i> pada area 2)	52
Gambar 3.13	Hasil <i>subtract area</i>	53
Gambar 3.14	<i>Create area rectangle by centre and corner</i> (1.5x0.75)m ...	53
Gambar 3.15	<i>Create area rectangle by centre and corner</i> (1.35x0.6)m ...	54
Gambar 3.16	Hasil <i>create area</i> (untuk bidang <i>rectangular duct</i>)	54
Gambar 3.17	<i>Subtract area</i> 1,2,3 (<i>apply</i> pada area 2)	55
Gambar 3.18	<i>Subtract area</i> 1,2,3 (<i>apply</i> pada area 3)	55
Gambar 3.19	Hasil <i>subtract area</i> untuk bidang tanah (1) dan <i>rectangular duct</i> (2)	56
Gambar 3.20	<i>Operate booleans glue areas</i> (1) dan (2)	56
Gambar 3.21	<i>Meshing attributes area</i> 1 (bidang <i>rectangular duct</i>)	58
Gambar 3.22	<i>Meshing attributes area</i> 2 (bidang tanah)	58
Gambar 3.23	<i>Size control</i> pada kedua bidang (0,025)m	58
Gambar 3.24	<i>Mesh free</i> pada kedua bidang	59

Gambar 3.25	Hasil <i>meshing</i> pada kedua bidang	59
Gambar 3.26	<i>Numbering area</i> pada bidang 1 dan bidang 2	60
Gambar 3.27	Hasil <i>numbering area</i> pada bidang 1 dan bidang 2	60
Gambar 3.28	<i>Solution define loads apply thermal convection on lines</i> (pada dinding bagian dalam bidang <i>rectangular duct</i>)	61
Gambar 3.29	Hasil <i>apply thermal convection on lines</i> (pada dinding bagian dalam bidang <i>rectangular duct</i>)	62
Gambar 3.30	<i>Solution define loads apply thermal convection</i> <i>on lines</i> (pada dinding bagian luar bidang tanah)	62
Gambar 3.31	Hasil <i>apply thermal convection on lines</i> (pada dinding bagian luar bidang tanah)	63
Gambar 3.32	<i>Solution define loads apply temperature conduction</i> <i>on areas</i> (pemilihan area)	63
Gambar 3.33	Hasil <i>define loads</i> pada bidang (1) dan bidang (2)	64
Gambar 3.34	Hasil <i>define loads</i> pada bidang (1) dan bidang (2) dengan (<i>plot control lines</i>)	64
Gambar 3.35	Proses <i>solve current LS</i>	65
Gambar 3.36	Hasil <i>solve current LS</i>	66
Gambar 3.37	Proses <i>plot nodal solution</i>	67
Gambar 3.38	Hasil <i>plot nodal solution DOF temperatur</i>	67
Gambar 3.39	Proses <i>numbering node</i>	68
Gambar 3.40	Hasil <i>numbering node</i>	68
Gambar 3.41	Proses <i>list result nodal solution</i>	69
Gambar 3.42	Hasil <i>list result nodal solution</i>	69
Gambar 3.43	Proses <i>list result sum at each node</i>	70
Gambar 3.44	Hasil <i>list result sum at each node</i>	70
Gambar 3.44	Pembagian <i>Node</i>	
Gambar 3.45	Penomoran dan jumlah <i>node</i>	71
Gambar 3.46	Pembagian nomor <i>node</i>	80
Gambar 3.47	Substitusi persamaan ke matrik 126x126 sesuai penomoran <i>node</i>	81

Gambar 3.48	<i>Setting calculation formula</i> pada <i>microsoft excel</i>	99
Gambar 3.49	Substitusi persamaan ke dalam <i>cell</i>	100
Gambar 4.1	Hasil perpindahan panas dari atas permukaan tanah dan dari permukaan dalam <i>rectangular duct</i> menuju permukaan tanah	104
Gambar 4.2	Hasil perpindahan panas dari atas permukaan tanah dan dari permukaan dalam <i>rectangular duct</i> menuju permukaan tanah	105
Gambar 4.3	Perubahan warna menunjukkan perubahan temperatur ...	108
Gambar 4.4	Perpindahan panas terlihat sesuai <i>numbering node</i>	109
Gambar 4.5	Pembagian Nomor <i>Node</i>	112
Gambar 4.6	Substitusi persamaan ke dalam <i>cell</i> sesuai penomoran <i>node</i>	114
Gambar 4.7	Hasil nilai temperatur setelah substitusi persamaan pada <i>node</i>	114
Gambar 4.8	Pemodelan nilai temperatur tiap <i>node</i> menggunakan <i>Microsoft excell</i> pada analisa metode <i>software ANSYS</i> ...	120
Gambar 4.9	Pemodelan nilai temperatur tiap <i>node</i> menggunakan <i>Microsoft excell</i> pada analisa metode <i>inverse matrik</i>	120
Gambar 4.10	Pemodelan nilai temperatur tiap <i>node</i> menggunakan <i>Microsoft excell</i> pada analisa metode iterasi	121

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1	Macam-macam bentuk elemen jumlah titik <i>node</i> dan Derajat kebebasan tiap elemen	24
Tabel 3.1	Substitusi <i>node</i> pada persamaan (2.13)	72
Tabel 3.2	Substitusi <i>node</i> pada persamaan (2.16)	74
Tabel 3.3	Substitusi <i>node</i> pada persamaan (2.19)	75
Tabel 3.4	Substitusi <i>node</i> pada persamaan (2.25)	77
Tabel 3.5	Substitusi <i>node</i> pada persamaan (2.28)	78
Tabel 3.6	Substitusi <i>node</i> pada persamaan (2.31)	80
Tabel 4.1	Nilai temperatur dari atas permukaan tanah hingga permukaan luar <i>rectangular duct</i>	105
Tabel 4.2	Temperatur hasil analisa ANSYS.....	110
Tabel 4.3	Temperatur hasil analisis <i>invers</i> matriks	112
Tabel 4.4	Temperatur hasil analisa iterasi	115
Tabel 4.5	Temperatur hasil analisis ANSYS, <i>invers</i> matriks, dan Iterasi	116

DAFTAR GRAFIK

Grafik 4.1	Hubungan temperatur dan jarak perpindahan panas pada <i>node</i> sisi horisontal <i>rectangular duct</i> analisa menggunakan <i>ANSYS</i> dan metode numerik	121
Grafik 4.2	Hubungan temperatur dan jarak perpindahan panas pada <i>node</i> horisontal analisa menggunakan <i>ANSYS</i> dan metode numerik dengan batas konveksi.....	122
Grafik 4.3	Hubungan temperatur dan jarak perpindahan panas pada <i>node</i> horisontal analisa menggunakan <i>ANSYS</i> dan metode numerik dibagian dalam.....	123
Grafik 4.4	Hubungan temperatur dan jarak perpindahan panas pada <i>node</i> horisontal analisa menggunakan <i>ANSYS</i> dan metode numerik dibagian ujung bersentuhan dengan bidang tanah	123